

효율적 분산협동최적설계를 위한 병렬처리 기반 분해 기법

박형욱[†] · 김성찬^{*} · 김민수^{**} · 최동훈^{***}
(2000년 11월 6일 접수, 2001년 3월 20일 심사완료)

Parallel Processing Based Decomposition Technique for Efficient Collaborative Optimization

Hyung-Wook Park, Sung-Chan Kim, Min-Soo Kim and Dong-Hoon Choi

Key Words : Multidisciplinary Design Optimization(다분야최적설계), Parallel Decomposition(병렬 분해), All at once method(일괄처리법), Sequential Decomposition(순차분해), MDASS(다분야 해석 하부시스템), Design Structure Matrix(설계구조행렬), Collaborative Optimization(협동최적설계)

Abstract

In practical design studies, most of designers solve multidisciplinary problems with large sized and complex design system. These multidisciplinary problems have hundreds of analysis and thousands of variables. The sequence of process to solve these problems affects the speed of total design cycle. Thus it is very important for designer to reorder the original design processes to minimize total computational cost. This is accomplished by decomposing large multidisciplinary problem into several multidisciplinary analysis subsystem (MDASS) and processing it in parallel. This paper proposes new strategy for parallel decomposition of multidisciplinary problem to raise design efficiency by using genetic algorithm and shows the relationship between decomposition and multidisciplinary design optimization (MDO) methodology

기호설명

- d_i : 분야의 적합 구속조건
- X^0 : 시스템 단계의 목적변수
- f_k : 전방연관(forward coupling)
- b_k : 후방연관(backward coupling)
- c_u : 상부연관(upper coupling)
- c_l : 하부연관(lower coupling)
- p_i^j : i 번째 하부시스템내의 j 번째 분야
- N_t : 전체 분야 개수
- F : 전체 하부시스템 개수

1. 서론

오늘날 대부분의 설계는 구조해석, 유동해석, 동역학해석 등의 다분야를 동시에 고려해야 하는 경우가 주종을 이루고 있다. 또한 바람직한 설계를 위해서 다양한 설계조건에 통합화, 복잡한 설계절차의 자동화, 다분야를 동시에 고려한 설계해의 최적화가 필요하다.

이러한 다분야통합 최적설계기술(Multidisciplinary Design Optimization, MDO)⁽¹⁻³⁾은 설계의 효율성이나 비용을 고려할 때 기존의 설계에 비해 많은 이점을 가지는 것으로 알려져 있다. 그러나 여러 분야가 복잡하게 연관(coupling)되어 있기 때문에 수많은 설계변수를 가지고 있으며 복잡한 해석절차를 필요로 한다. 따라서 설계문제를 적절히 분해하여 효율을 높인다는 측면에서 전체 시스템을

[†] 책임저자, 회원, 한양대학교 대학원 기계설계학과
E-mail : hwpark@hymail.hanyang.ac.kr
TEL : (02)2290-0478 FAX : (02) 2290-1639

^{*} 한양대학교 대학원 기계설계학과

^{**} 회원, 한양대학교, BK21 기계분야 계약교수

^{***} 회원, 한양대학교, 최적설계신기술연구센터

여러개의 하부시스템(Multi-Disciplinary Analysis Sub-System, MDASS)으로 나누어 병렬처리를 하기 위한 분해 방법이 요구되며 이러한 분해 방법은 다분야통합최적설계 방법론을 적용하기 위한 전처리 과정으로서 반드시 필요한 과정이라 할 수 있다. 즉, 복잡하게 연관되어있는 MDO 문제를 전통적인 최적화 방법인 목적함수, 설계변수 및 구속조건 등을 정의하는 하나의 해석모듈로 구성하여 접근(all-at-once method)하지 않고 네트워크 기반의 분산 컴퓨팅과 병렬처리기법을 고려하여 전체 시스템을 여러 개의 하부시스템으로 분해하는 기법이 필요하다.^(4,5) 이러한 분해기법에서는 하부시스템 간의 연관과 하부시스템의 후방연관을 동시에 줄이도록 시스템을 재구성하여야 한다. 왜냐하면 하부시스템 간의 연관은 다분야통합최적설계방법론을 적용하여 설계를 할 때 시스템간의 일관성을 유지하기 위한 구속조건으로 표현되기 때문에 최적화 알고리즘에 부담을 증가시키는 요인으로 작용한다. 그리고 하부시스템 내의 후방연관은 반복연산을 유발하므로 시스템 설계에 소요되는 시간을 증가시키는 문제가 있다.

Rogers 는 이러한 고려사항 중에서 시스템 내의 후방연관에 의한 CPU 시간을 줄이는 순차분해법(sequential decomposition)을 구현하였다. 그는 전체 시스템의 분야간의 관계를 보기 쉽게 나타낸 설계 구조행렬(Design Structure Matrix, DSM)과 유전자 알고리즘을 이용하여 분야의 순서를 바꿔주는 스케줄링 작업으로 후방연관에 의한 반복연산을 줄이고자 하였다.⁽⁶⁻⁹⁾ 이러한 이론을 좀 더 발전시켜 Kroo 는 다분야 설계문제를 스케줄링함과 동시에 병렬처리를 위해 전체 시스템을 몇 개의 하부시스템으로 나누어 효율을 높이고자 하였다.^(10,11) 그러나 병렬처리를 위한 고려 사항은 설계자의 경험에 의하여 분류하는 한계가 있었다. 따라서 이들 두 연구는 실제로 전체시스템을 하부시스템으로 나누고 하부시스템 간의 연관과 후방연관에 의한 반복연산을 줄이는 방법을 구체적으로 제시하지 못하였으며 결론적으로 네트워크 기반의 협동 최적설계를 위한 분해 방법론으로는 부족한 면이 있음을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서는 네트워크 기반의 컴퓨팅 환경 하에서 협동최적설계를 수행하고자 할 때 병렬처리가 가능하도록 시스템을 여러 개의 하부시스템으로 분해하는 기법을 제시하고자 한다.⁽¹²⁾ 하부시스템 내의 후방연관을 줄이기 위해서 Rogers 와 Kroo 가 제시한 순차분해법을 이용하고자 하며, 하부시스템 간의 연관을 줄이기 위한 인자를 유전자알고리즘의 적합도 함수에 추가함으

로써 다분야통합최적설계 방법론을 적용하기 위한 새로운 병렬처리기반 분해 기법 (parallel processing based decomposition) 을 제시하고자 한다.

이를 위해 2 장에서는 다분야 설계문제를 풀기 위한 일반적인 방법론과 순차분해법에 대해 알아보고,⁽¹³⁾ 3 장에서는 본 논문에서 제시하고자 하는 병렬분해법(parallel decomposition)과 여기에 사용된 유전자 알고리즘에 관해 간략하게 설명하고, 4 장에서는 위의 내용에 근거한 적용 예를 바탕으로 병렬처리 분해법의 결과를 분석한다.

2. 다분야 설계문제의 순차분해기법

2.1 다분야최적설계를 위한 방법론

다분야최적설계문제를 풀기 위해서는 우선 선행 되어야 할 과제가 있다. 여러 연구들에서 제시된 해석을 적절한 순서로 재배열하여 최적설계에 적합한 구조로 구성하여야 한다. 예를 들어 기존에 수행되어온 일괄처리 방법(all-at-once method)으로 다분야 통합 최적설계 문제의 해를 얻고자 한다면 Rogers 가 제시한 순차분해법을 이용하여 전체 분야를 재구성함으로써 시스템 해석에 소요되는 시간을 줄이는 분해법이 적합하다

그러나 일괄처리 방식이 아닌 Fig. 1 과 같은 절차를 가지는 분산협동최적설계(Collaborative Optimization, CO)⁽¹⁴⁾와 같은 방법을 이용하고자 한다면 기존에 제시된 순차분해법만으로는 적절하

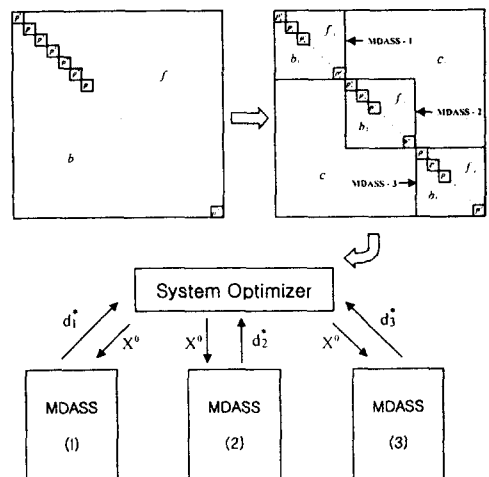


Fig. 1 Collaborative optimization procedure

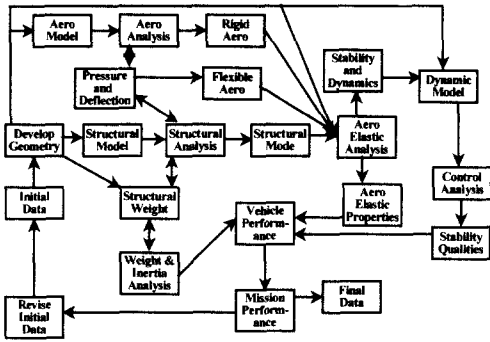


Fig. 2 Example of design process for MDO problem

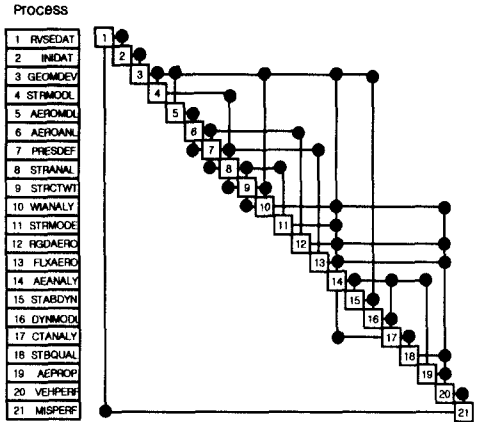


Fig. 4 Sequenced DSM for sample MDO problem

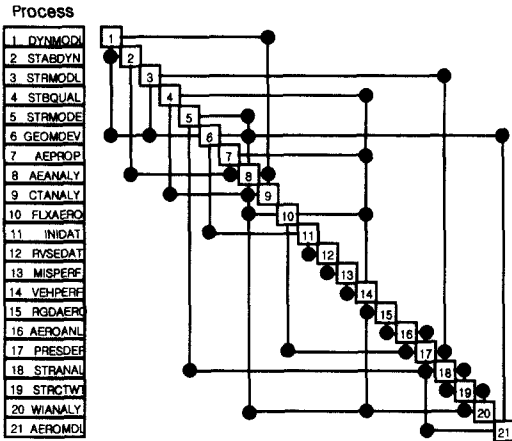


Fig. 3 Unsequenced DSM for sample MDO problem

계 시스템 분해를 수행할 수가 없다. 다시 말해서 병렬처리를 위해 전체 시스템을 몇 개의 하부시스템으로 분해하여야 하는데 위의 순차분해법은 이러한 점을 고려하지 않기 때문이다.

따라서 새로운 분해법을 개발할 필요가 있는데 이는 본 논문에서 제시하는 병렬분해법을 개발하게 된 배경이 된다. 다음 절에서는 순차분해법과 병렬분해기법의 필요성에 대하여 설명하겠다.

2.2 순차분해법

순차분해법은 설계 분야간의 연관관계를 보기 쉽게 나타낸 설계구조행렬에서 반복연산을 유발하는 후방연관을 줄이기 위하여 분야들의 순서를 재배열하는 방법이다. 여기서 설계구조행렬은

Steward⁽¹⁵⁾에 의해 개발된 표기법으로 다분야가 연관되어있는 설계문제의 연관 관계를 행렬구조를 이용하여 쉽게 알아볼 수 있도록 만든 표기법이다. Fig. 2, Fig. 3 과 Fig. 4 는 Rogers 가 대표적인 MDO 문제인 항공기 설계 문제에 순차분해법을 적용한 예이다. Fig. 2가 일반적인 다분야 설계문제의 분야간의 흐름도라고 할 때, Fig. 3 은 설계구조행렬을 이용하여 전체 분야를 보다 보기 쉽고 다루기 쉽게 나타낸 그림이다. Fig. 3 에서 대각선 방향으로 늘어선 박스들은 다분야최적설계문제가 포함하고 있는 각각의 설계 분야들을 나타내고 이들을 연결하는 선들 중에서 수평선은 각 분야에서 나온 결과값을 수직선은 분야로 들어가는 입력값을 나타낸다. 수직선과 수평선에 의해 연결되는 분야들은 서로 연관 되어 있음을 의미하며, 설계 구조행렬 대각선 위쪽 삼각형 영역은 전방연관 영역이고 아래쪽 삼각형 영역은 후방연관 영역이다. 두 분야간의 후방연관에 의한 반복연산은 각 분야의 해석값이 수렴할 때 까지 진행 되므로 전체 설계 관점에서 볼 때 후방연관이 설계 시간을 늘리는 주요 요인이 된다. 따라서 유전자 알고리즘을 이용하여 전체 분야를 재배열 하여 후방연관을 줄이게 되면 Fig. 4와 같은 구조를 가지는 설계구조행렬을 얻게 된다.

앞서 설명한 바와 같이 Rogers^(1,2)는 MDO 문제를 풀기위한 방법론 중 일괄처리법에 적합한 순차분해법을 구현 하였다. 즉 분야간의 관계를 보

기 쉽게 나타낸 설계 구조행렬과 유전자 알고리즘을 이용하여 분야의 순서를 바꿔주는 스케줄링 작업으로 후방연관에 의한 반복연산을 줄이려고 하였다. 그러나 협동최적설계 관점에서 볼 때 Rogers 가 적용한 순차분해법 만으로는 전체 설계 문제를 한꺼번에 일괄적으로 풀어내므로 병렬처리에 의한 효율을 기대할 수 없게 되는 것이다. 따라서 협동최적설계를 위해 전체를 몇 개의 하부시스템으로 나누는 새로운 분해방법이 필요하게 된다. 3 장에서는 분산협동최적설계를 구현하기 위한 병렬분해법에 대해서 설명할 것이다.

3. 분산협동최적설계를 위한 병렬분해법

3.1 병렬처리를 위한 분해 기술

다분야가 연관된 복잡한 설계 문제를 설계하고자 할 때, 복잡한 설계문제를 여러 개로 분해하여 전체 설계의 효율을 높인다는 측면에서 네트워크 기반의 병렬처리를 도입하는 것은 상당히 유리하다. 이 때 병렬처리를 위해 다분야 설계 문제를 어떻게 분해하느냐 하는 문제가 대두되는데 이는 본 논문에서 제시하는 병렬분해법을 적용하면 가능해진다.

앞서 설명한 순차분해법은 설계 구조행렬을 토대로 유전자 알고리즘을 이용하여 반복 연산을 유발하는 분야간의 후방연관을 줄이고자 하는데 그 목적이 있었다. 따라서 유전자 알고리즘의 적합도 함수를 식 (1)과 같이 구성하였다.

$$\text{Fitness} = -\sum_{i=2}^{N_t} \sum_{j=1}^{i-1} \text{DSM}(i, j)(i - j) \quad (1)$$

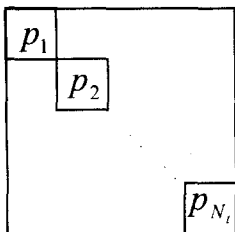


Fig. 5 DSM of system

여기서, $\text{DSM}(i, j)$ 의 값은 설계구조행렬 (Fig. 5) 내에서 연관이 있는 분야들이 담고있는 상태변수의 수를 나타낸다. 즉, $\text{DSM}(i, j)$ 의 값은 설계구조행렬상에서 (i, j) 번째 연관에 해당하는 분야 사이에 연관관계가 없으면 0 이 되며 연관된 변수의 개수가 n 개이면 $\text{DSM}(i, j)$ 의 값은 n 으로 설정된다.

그러나 병렬분해법에서는 전체 시스템을 몇 개의 하부시스템으로 나누고 반복연산을 유발하여 계산시간을 증가시키는 요소를 하부시스템 내의 후방연관에 의한 요인과 하부시스템 간의 연관에 의한 요인으로 나누어 유전자 알고리즘의 적합도 함수에 적용하였다.

Fig. 6 은 N_t 개의 세부 분야로 이루어진 전체 시스템을 F 개의 하부시스템으로 분해하고자 할 때의 설계구조행렬을 나타내고 있다.

$$f_k = \sum_{i=1}^{u-1} \sum_{j=i+1}^u \text{DSM}(i, j) \quad (2)$$

$$b_k = \sum_{i=1}^u \sum_{j=1}^{i-1} \text{DSM}(i, j)(i - j) \quad (3)$$

$$c_u = \sum_{i=1}^{N_t-1} \sum_{j=2}^{N_t} \text{DSM}(i, j) - \sum_{k=1}^N f_k \quad (4)$$

$$c_t = \sum_{i=2}^{N_t-1} \sum_{j=1}^{N_t} \text{DSM}(i, j) - \sum_{k=1}^N \left[\sum_{i=1}^u \sum_{j=1}^{i-1} \text{DSM}(i, j) \right] \quad (5)$$

$$l = \sum_{p=0}^{k-1} n_p + 1, u = \sum_{p=1}^k n_p, N_t = \sum_{p=0}^N n_p, n_0 = 0 \quad (6)$$

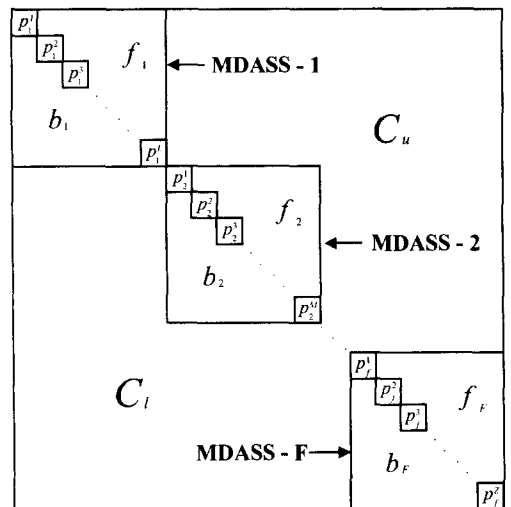


Fig. 6 DSM of decomposed system for parallel processing

식 (2)는 하부시스템 내부의 전방연관에 해당되는 항으로서 하부시스템의 해석에 소요되는 시간에 영향을 미치지 않는 항이다. 식 (3)은 하부시스템 내부의 후방연관과 관련된 항으로서 하부시스템의 해석에 소요되는 계산시간을 증가시키는 항이다. 하부시스템 내의 후방연관 중 상대적으로 멀리 떨어진 분야들간의 연관은 서로 인접해있는 후방연관에 비하여 해석시간이 더 많이 소요되므로 이러한 점을 고려해 주기 위해 거리인자 (i-j)를 곱하였다. 식 (4)와 식 (5)는 하부시스템 간의 상부연관과 하부연관을 나타내었다.

다음 절에서는 병렬분해법을 위한 유전자 알고리즘의 적합도 함수를 식 (2) - 식 (6)을 이용하여 표현하는 방법을 소개하겠다.

3.2 병렬분해법을 위한 유전자 알고리즘의 적합도 함수

본 연구에 이용된 유전자 알고리즘은 각 분야를 설계 변수인 유전자라 가정하고 이들의 집합체인 전체 분야들을 하나의 염색체로 가정하여 조합최적화를 수행하는 순열 기반 유전자 알고리즘(permutation based genetic algorithms) 이다. 우리는 이러한 유전자 알고리즘의 연산을 통해 적합도 함수의 값을 최대화 시키는 방향으로 교배연산과 변이연산을 수행하여 Fig. 6 과 같은 구조의 설계 구조행렬을 만들어 낼 수 있는 것이다. 여기서 본 논문에서 제시한 유전자 알고리즘의 적합도 함수를 Fig. 6을 이용하여 정식화 하면 다음과 같다.

$$\text{Fitness} = \max \left\{ \frac{\min_{k=1 \dots N} f_k}{1 + \max \left[w_1 \cdot \min_{k=1 \dots N} b_k, w_2 \cdot \max(c_l, c_u) \right]} \right\} \quad (7)$$

$k : \text{MDASS No.}$

적합도 함수를 구성하고 있는 부분을 살펴보면 $\min b_k$ 는 하부시스템 내에서 후방연관이 가장 적은 부분의 값을, $\max(c_l, c_u)$ 는 하부시스템 간의 위쪽과 아래쪽 연관 중에서 가장 많은 상태 변수를 포함하고 있는 부분의 값을, $\min f_k$ 는 하부시스템 내에서 전방연관이 가장 큰 부분의 값을 나타내고, 전체를 최대화 함으로써 앞서 설명한 형태의 설계 구조행렬을 얻어내도록 수식화 하였다.

여기서 우리는 적합도 함수를 구성하기 위해 다중 목적함수의 선호함수(preference function) 중에서 min-max 함수를 적용하였다.

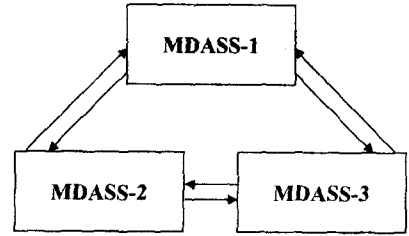


Fig. 7 Nonhierarchical structure of MDO problem

Table 1 Result of parallel decomposition for airplane design process

	Before parallel Decomposition	After Parallel Decomposition
Total feedback coupling	14	6
Total MDASS Coupling	15	12

이와 같이 유전자 알고리즘을 이용하여 몇 개의 하부시스템으로 분리한 후의 연관관계를 도시하면 Fig. 7 과 같다. 이와 같이 분해된 시스템을 다분야통합최적화방법론을 적용하여 최적화를 수행하면 효율의 향상을 기할 수 있다.

4. 병렬분해법의 적용 예

본 장에서는 제 2 절과 제 3 절에서 제시한 병렬분해법을 적용하여 여러 절차를 거치는 설계문제를 적절히 분해한 예를 보이고자 한다.

4.1 절에서는 항공기 설계의 작업흐름을 병렬분해법에 의하여 재구성 하였으며 4.2 절에서는 Collville 의 화학반응장치 최적화문제를 병렬분해 및 최적화하였다.

4.1 항공기 설계의 작업흐름에 대한 병렬분해

이 절에서는 Rogers 가 적용한 항공기 설계 예제에 병렬분해법을 적용하고자 한다. 전체 설계 분야들은 앞서 보인 Fig. 2 에 나타난 것과 같고 이를 설계 구조행렬을 이용하여 보기 쉽게 나타내면 Fig. 3 과 같이 된다.

Fig. 8 은 Fig. 3 과 같은 설계절차를 갖는 경우에 대하여 3 개의 하부시스템을 가지는 구조로 분해

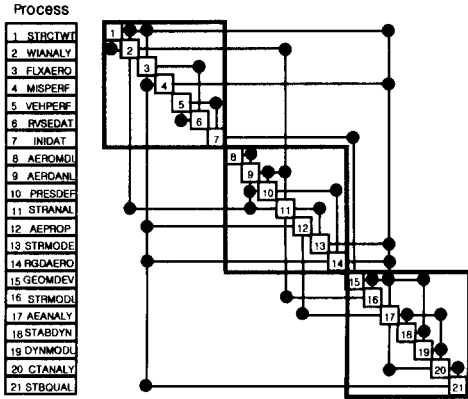


Fig. 8 Result of parallel decomposition for airplane design process

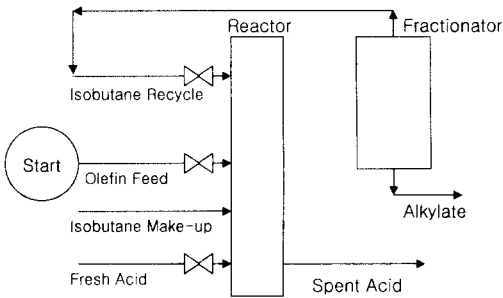


Fig. 9 Simplified flow diagram of an alkylation unit

한 결과를 나타내고 있다. 병렬분해법을 적용한 결과 Table 1 에서 보는 바와 같이 하부시스템 내의 후방연관이 57% 감소하였고 하부시스템 간의 연관이 20% 감소하였음을 알 수 있다.

여기서 주의 할 점은 해석에 소요되는 계산시간에 많은 영향을 미치는 하부시스템 내부의 후방연관과 최적화 과정에서 소요되는 계산시간에 많은 영향을 미치는 하부시스템 간의 연관의 가중치를 결정하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 해석을 위한 반복연산과정을 최적화과정을 위한 반복연산이 포함하고 있다고 판단하여 하부시스템 내부의 후방연관관계에 대한 중요도를 높게 설정하였다.

4.2 Colville 의 화학반응장치 설계흐름의 병렬분해 및 분산협동최적설계

Fig. 9 는 1968 년에 Colville 이 검증용 예제로 사

용하였던 화학반응장치 문제⁽¹⁶⁾이다. 설계변수와 상태변수 그리고 최적설계 문제는 다음과 같다.

설계변수의 정의

- x_1 = Olefin Feed Rate, bpd
- x_2 = Isobutane Recycle Rate, bpd
- x_3 = Fresh Acid Addition Rate, Mbpd

상태변수의 정의

- y_1 = profit, \$/day
 $= 0.063y_2y_5 - 5.04x_1 - 3.36y_3 - 0.035x_2 - 10.0x_3$
- y_2 = Alkylate Product Rate, bpd
 $= x_2(112 + 13.167y_6 - 0.6667y_6^2)/100$
- y_3 = Make-Up Isobutane Rate, bpd
 $= 1.22y_2 - x_1$
- y_4 = Spent Acid Strength, wt%
 $= 98000x_3 / (y_2y_7 + 1000x_3)$
- y_5 = Motor Octane Number
 $= 86.35 + 1.098y_6 - 0.038y_6^2 + 0.325(y_4 - 89)$
- y_6 = External Isobutane to Olefin Ratio
 $= (x_2 + y_3) / x_1$
- y_7 = Acid Dilution factor, ADF
 $= 35.82 - 0.222y_8$
- y_8 = F-4 Performance No. @4.6cc Tel/gal.
 $= -133 + 3y_5$

최적설계문제 정식화

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize } y_1 \\
 & \text{Subject to } 0 \leq y_2 \leq 5000 \\
 & \quad \quad \quad 0 \leq y_3 \leq 2000 \\
 & \quad \quad \quad 85 \leq y_4 \leq 93 \\
 & \quad \quad \quad 90 \leq y_5 \leq 95 \\
 & \quad \quad \quad 3 \leq y_6 \leq 12 \\
 & \quad \quad \quad 0.01 \leq y_7 \leq 4 \\
 & \quad \quad \quad 145 \leq y_8 \leq 162 \\
 & \quad \quad \quad 0 \leq x_1 \leq 2000 \\
 & \quad \quad \quad 0 \leq x_2 \leq 16000 \\
 & \quad \quad \quad 0 \leq x_3 \leq 120
 \end{aligned} \tag{8}$$

위의 상태변수 식을 설계구조행렬로 나타내면 Fig. 10 의 (a)와 같으며 이를 2 개의 하부시스템을 가지는 구조로 병렬 분해하면 Fig. 10 의 (b)와 같다.

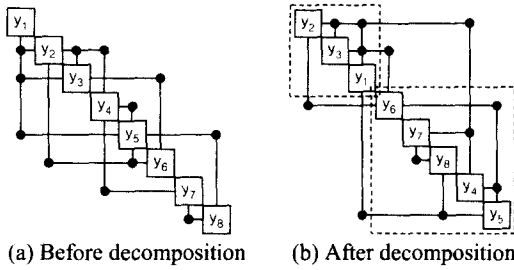


Fig. 10 Parallel decomposition of alkylation unit process

Table 2 Result of parallel decomposition for alkylation unit process

	Before parallel Decomposition	After Parallel Decomposition
Total feedback coupling	5	2
Total MDASS Couping	4	4

본 논문에서 제시한 병렬분해법을 적용한 결과 Table 2 에서 보는 바와 같이 하부시스템 간의 연관은 변화가 없었으나 하부시스템 내의 후방연관은 5 개에서 2 개로 3 개 감소하였다. 이와 같이 2 개의 하부시스템으로 분해한 경우에 대하여 분산협동최적설계를 적용하였을 때의 효율향상을 입증하기 위하여 식 (8)과 같은 최적화 문제를 식 (9)와 같은 시스템 단계 최적화 문제와 식 (10, 11)과 같은 하위 단계 최적화 문제로 분리하여 최적화를 수행하였다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Find} \quad \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{y}_2, \bar{y}_3, \bar{y}_5, \bar{y}_6 \\
 & \text{Minimize} \quad y_1 \\
 & \text{Subject to} \quad J_1 = 0 \\
 & \quad \quad \quad J_2 = 0
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Find} \quad x_1, x_2, x_3 \\
 & \text{Minimize} \quad J_1 = (x_1 - \bar{x}_1)^2 + (x_2 - \bar{x}_2)^2 + (x_3 - \bar{x}_3)^2 \\
 & \quad \quad \quad + (y_2 - \bar{y}_2)^2 + (y_3 - \bar{y}_3)^2 \\
 & \text{Subject to} \quad 0 \leq y_2 \leq 5000 \\
 & \quad \quad \quad 0 \leq y_3 \leq 2000 \\
 & \quad \quad \quad 0 \leq x_1 \leq 2000 \\
 & \quad \quad \quad 0 \leq x_2 \leq 16000 \\
 & \quad \quad \quad 0 \leq x_3 \leq 120
 \end{aligned} \tag{10}$$

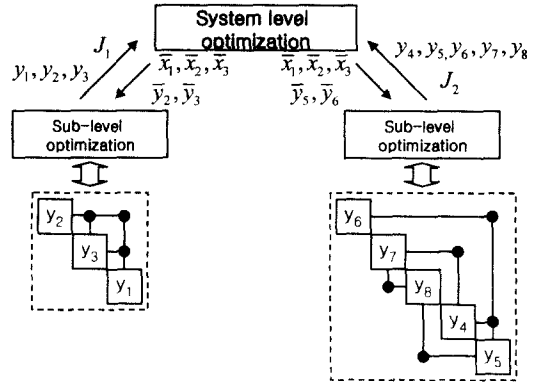


Fig. 11 Collaborative Optimization of alkylation unit process

$$\begin{aligned}
 & \text{Find} \quad x_1, x_2, x_3 \\
 & \text{Minimize} \quad J_2 = (x_1 - \bar{x}_1)^2 + (x_2 - \bar{x}_2)^2 + (x_3 - \bar{x}_3)^2 \\
 & \quad \quad \quad + (y_5 - \bar{y}_5)^2 + (y_6 - \bar{y}_6)^2 \\
 & \text{Subject to} \quad 85 \leq y_4 \leq 93 \\
 & \quad \quad \quad 90 \leq y_5 \leq 95 \\
 & \quad \quad \quad 3 \leq y_6 \leq 12 \\
 & \quad \quad \quad 0.01 \leq y_7 \leq 4 \\
 & \quad \quad \quad 145 \leq y_8 \leq 162 \\
 & \quad \quad \quad 0 \leq x_1 \leq 2000 \\
 & \quad \quad \quad 0 \leq x_2 \leq 16000 \\
 & \quad \quad \quad 0 \leq x_3 \leq 120
 \end{aligned} \tag{11}$$

즉 Fig. 11 에서 보는 바와 같이 식 (9)는 분산협동최적설계에서 시스템 단계의 최적화 문제이며, 식 (10)과 식 (11)은 하위 단계의 최적화 문제이다. 이와 같은 구조를 가지는 분산협동최적설계 문제를 DOT⁽¹⁷⁾을 이용하여 최적화를 수행한 결과, 상태변수 $y_1 \sim y_8$ 의 값을 구하는 회수가 기존 4860 회에서 1503 회로 대폭 감소함을 알 수 있었다. 여기서 병렬처리를 이용한 최적화에서의 상태변수 계산 회수는 두개의 하위 최적화과정의 병렬로 처리되므로 호출회수가 많은 경우의 값을 취하여 총 상태변수 계산 회수를 누적한 결과이다.

5. 결론 및 고찰

본 논문에서는 다분야를 가지는 설계문제를 분해기반 병렬화 기법을 통해서 해석을 수행하고자 할 때 필요한 병렬분해법의 개발에 그 목적을 두고 있다. 현재 MDO 문제에 분산협동최적설계를 적용하고자 할 때 전체 시스템을 효율적으로 분해하는 적절한 방법론이 제시되어 있지 않은 실

정이다. 본 논문은 분산환경 하에서 MDO가 수행될 때 선행되어야 하는 분해법에 대해 연구하였다. 병렬처리의 효율을 얻기 위해선 다분야가 연관되어있는 시스템을 어떻게 분해하느냐는 큰 문제가 된다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

MDO 문제에 분산협동최적설계를 적용하고자 할 때 MDO 문제를 구성하고 있는 전체 분야들은 사용 가능한 네트워크 컴퓨팅 환경에 따라 몇 개의 하부시스템으로 묶여 나누어져야 한다. 이는 또한 실제로 해석이 진행될 때 하부시스템 내의 분야들간의 연관과 하부시스템 간의 연관이 해석시간에 미치는 영향을 동시에 고려하면서 분해되어야 한다. 즉 하부시스템 내에서는 순차분해법의 이론을 바탕으로 반복연산을 야기하는 후방연관이 전방연관으로 바뀌어야 하며, 하부시스템 간의 연관에서는 상태변수를 가장 많이 담고있는 연관이 해석시간에 직접적인 영향을 끼친다는 점을 고려해야 한다. 4 절의 결과를 고찰해 볼 때 병렬처리를 고려한 분해법이 순차분해법보다 분산협동설계를 위한 시스템 분해기법으로 적합함을 알 수 있다.

본 연구에서는 MDO 문제에 협동최적설계를 적용하고자 할 때 선행 되어야 할 과제로 설계구조 행렬과 유전자 연산을 이용하는 병렬분해법과 같은 분해 방법론을 제시하는 것으로 MDO 설계를 실제로 수행했을 때의 해석시간이나 그 효율에 관한 내용은 MDO에 관한 보다 많은 연구가 이루어진 다음에 진행되어야 할 것으로 사료된다.

후 기

이 연구는 한국과학재단 지정 최적설계 신기술 연구센터의 연구비지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Kroo, I., Altus, S., Gage, P., and Sobieski, J., 1994, "Multidisciplinary Optimization Methods for Aircraft Preliminary Design," *AIAA-94-4325-CP, Proceedings of the 5th AIAA/NASA/USAF/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization*, pp. 697-707, Panama City, Florida, September.
- (2) Sobieski, J., 1993, "Multidisciplinary Design Optimization An Emerging New Engineering Discipline," *World Congress on Optimal Design of Structural Systems*, Brazil.
- (3) Stephen. M. B. and Marc A. S., 1999, "Framework for Multidisciplinary Design Based on Response-Surface Approximations," *Journal of Aircraft*, Vol. 36, No 1, January-February, pp. 287-297.
- (4) Sobieski, J., 1982, "A Linear Decomposition Method for Large Optimization Problems - Blueprint for Development", NASA TM 83248.
- (5) Sobieski, J., 1988, "Optimization by Decomposition: a step from hierarchic to non-hierarchic systems," *Proc. Second NASA/Air Force Symposium on Recent Advances in Multidisciplinary Analysis and Optimization*, Hampton, VA, 28-30 September.
- (6) Rogers, J.L. and Barthelemy, J.-F. M., 1992, "Enhancements to the Design Manager's Aid for Intelligent Decomposition (DeMAID)," *AIAA paper No. 92-4809*.
- (7) Rogers, J. L., and Bloebaum, C. L., 1994, "Ordering Design Tasks Based on Coupling Strength," *AIAA paper No. 94-4362*.
- (8) Rogers, J. L., 1996, "DeMAID/GA an Enhanced Design Manager's Aid for Intelligent Decomposition," *AIAA paper*, NASA Langley Research Center.
- (9) Rogers, J. L., 1989, "DeMAID - A Design Manager's Aid for Intelligent Decomposition User's Guide," *NASA TM-101575*.
- (10) McCulley, C. M., and Bloebaum, C. L., 1994, "Optimal Sequencing for Complex Engineering Systems Using Genetic Algorithms," *Fifth AIAA/USAF/NASA/OAI Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization*, Panama City, FL.
- (11) Mitsuo, G., Runwei, C., 1997, *Genetic Algorithms And Engineering Design*, John Wiley & Sons Books, Inc., New York, pp. 1-40.
- (12) Altus, S. S., Kroo, I. M., and Gage, P. J., 1995, "A Genetic Algorithm for Scheduling and Decomposition of Multidisciplinary Design Problems," *ASME paper 95-141*.
- (13) Wagner, T. C., 1993, *A General Decomposition Methodology for Optimal Systems Design*, Doctoral Dissertation, Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, University of Michigan, Ann Arbor.
- (14) Eschenauer, H. A. and Grauer, M., 1999, "Decomposition and Parallelization strategies for solving large-scale MDO problems," *Advances in Design Automation*, Vol. 1, No. 1, pp. 24-43.
- (15) Steward, D. V., 1981, *Systems Analysis and Management, Structure, Strategy and Design*, Petrocelli Books, Inc., New York.
- (16) Colville, A.R., "A Comparative Study on Nonlinear Programming Codes," IBN New York Scientific Center Report No. 320-2949, June, Test Problem #8 (pg. 32), IBM Corporation, Philadelphia Scientific Center, Philadelphia, PA.
- (17) Vanderplaats, G.N. 1995, *DOT Users Manual Version 4.20*, Vanderplaats Research & Development, Inc.